

A-02

## 타면기 공정을 거쳐 솜 저장 탱크에 저장된 원료의 화재원인 분석

고택수, 이수경\*, 김영철\*\*, 하동명\*\*\*

한국소방안전협회, \*서울산업대학교 안전공학과, \*\*한국화재조사학회, \*\*\*세명대학교  
안전공학과

### The Fire Source of Fuel in Cotton Storing tank by way of A Willowing Machine Process

Tek-Su Ko, Su-Kyung Lee\*, Young-Chel Kim\*\*, Dong-Myung Ha\*\*\*

Korea Fire Safety Association, \*Seoul National University of Tech Dept. of Safety Eng.

\*\* Korea Institute of Fire Investigation, \*\*\*Semyung University of Tech Dept. of Safety Eng

#### 1. 서 론

제조공장에서의 타면공정에서 솜 저장탱크까지의 화재위험을 분석하여 다음과 같은 위험성을 도출하였다. 도출된 철편, 쇠조각 등의 마찰에 의한 화재위험성과, 타면기 회전체와 원료의 접촉에 의한 정전기 방전에 의한 화재 위험성, 면파사가 함유된 원료가 투입되는 경우의 화재위험성 및 송풍기에 의한 이송과정의 착화 위험성을 종합적으로 검토하여 2003년 8월 9일 S산업 침대압축매트 제조공장에서 발생한 화재사건의 원인을 추론하였다.

추론을 토대로 원료인 폴리파사(폴리에스테르, 나일론 등), PP파사 및 면파사 함유의 화재 위험성을 종합적으로 검토하여 자연발화 및 정전기 스파크, 마찰열의 가능성을 분석하여 화재의 원인을 도출하였다.

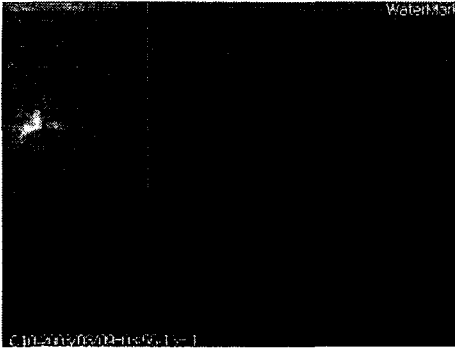
#### 2. 본 론

##### 발화부와 화재양상

S산업 침대압축매트 제조공장에서 발생한 화재사건은 S산업 공장 내 설치된 C.C.T.V 영상기록자료를 판독한 바, 화재 발생 당시 (그림1) 10번, (그림2) 7번 카메라에 의해 촬영된 위치로 판단할 수 있었다. 이는 솜저장탱크에서 최초 발염(發焰)발화(發火)한 화재로서, 발화부는 솜저장탱크로 판단되었다.

화재 발생 전일 20시경 타면작업 종료 후 퇴실한 상태에서 익일 03시53분경 밀폐공간인 솜 저장탱크(가로 3m, 세로 6m, 높이 5m의 철제 탱크)에서 폭발 또는 프래쉬 오버의

형태로 화재가 확대됨에 따라서 그 이전에 발화된 상태라는 것을 알 수 있었다. 참고로 CCTV화면(그림3)에 이미 연기가 외부로 확산된 시간은 03시 29분 30초이다. 따라서 타면된 승의 물리적 특성과 발화까지의 시간적 경과상 전형적인 면파사의 훈소화재 양상으로 판단되었다.



2003/08/09-03:55:13

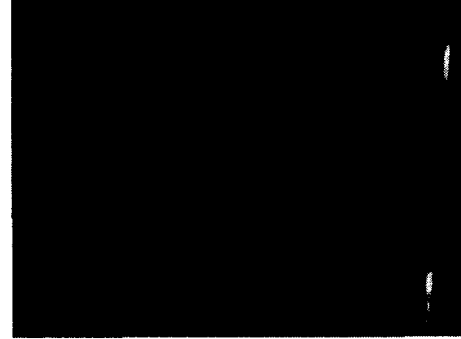


2003/08/09-03:55:29

그림 1. CCTV 카메라 NO.10

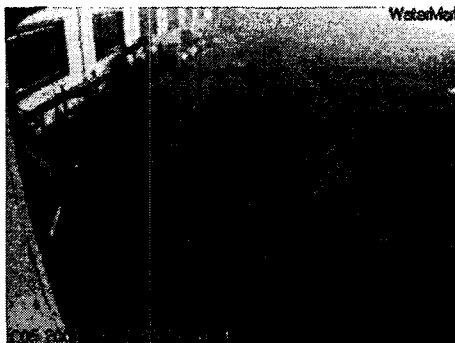


2003/08/08-19:03:01

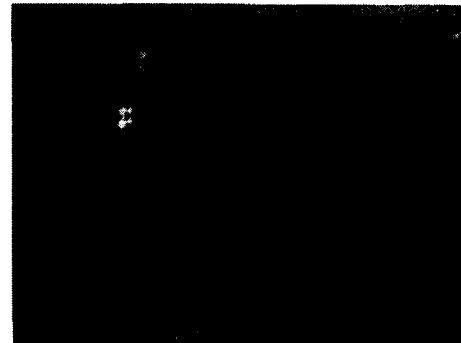


2003/08/09-03:54:53

그림 2. CCTV 카메라 NO.7



2003/08/09-03:29:30



2003/08/09-03:40:10

그림 3. 외부 CCTV 카메라 NO.1, NO.5 (연기의 유동)

### 원료의 물질 특성

S산업 침대압축매트 제조공장의 타면기 공정을 거쳐 슝 저장탱크에 정장된 원료는 내열에 강한 PP파사, 폴리파사(폴리에스테르, 나일론 등)의 원료를 가지고 침대압축매트를 만드는 공정이다. 여기서 원료인 폴리프로필렌, 나일론, DMT(폴리에틸렌, 테레프탈레이트), 면사(셀룰로이드)의 발화점을 비교하면, 면사는 180℃이나 그 외에는 400℃ 이상이였다. 이는 석유로부터 만들어지는 합성섬유는 자연발화의 가능성은 매우 적고 면파사는 온도 상승 또는 정전기에 의한 방전(Spark현상)과 마찰열 등의 점화원에 의해 발화의 가능성이 높다는 것을 의미하게 된다.

즉, 방직공정에서 주재료가 가연물질로 각각의 공정마다 높은 화재 위험을 갖고 있으며 일단 화재가 발생하면 순식간에 연소 확대되어 대형 화재로 전이된다.

폴리프로필렌, 나일론 및 폴리에스테르 등은 400℃이상의 고온에서 발화됨으로 현실적으로 정전기, 마찰열 등의 점화에너지는 공정상의 화재를 일으킬 수 없으나 면파사가 함유된 경우에는 화재가 발생하게 된다. (그림4)

이것은 타면 공정의 스파이크롤러 부분에서는 기계장치의 접지 및 본딩이 되어 있으나, 비전도성 재료의 마찰 대전되는 정전기가 쉽게 제거되지 못하여 스파크 불꽃을 공정운전 중에 계속적으로 발생하고 있다. 원재료에 면파사가 최소한 10%상당 함유되어도 면파사에 착화(착화온도180℃) 되어 불씨를 갖고 송풍장치를 통과하여 슝 저장탱크로 이송되어 장시간 축열되므로 발화하게 된다.

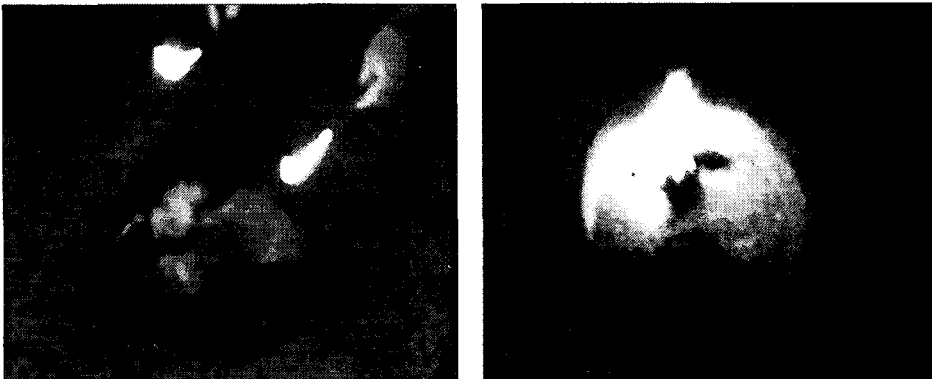


그림 4. 폴리파사(검정)와 면파사가 함유된 섬유(하얀색)와의 연소성 비교

### S산업 제조공장의 화재 위험성 분석

첫째, 철판, 쇠조각 등의 마찰에 의한 화재위험성 - 타면공정에서는 폴리파사, 나일론파사, PP파사를 혼합하여 2-6cm 정도의 두께로 투입되고 타면기의 고속회전체에 투입되기 전에 영구 자석분리기(Magnetic Separator)에 의해서 철판, 쇠조각의 이물질들을 제거하기 때문에 본 공정에서 이물질로 인한 마찰열에 의한 화재 위험성은 전혀 없다.

둘째, 타면기 회전체와 원료의 접촉에 의한 정전기 방전에 의한 화재 위험성 - 타면기 회전체에 합성섬유(PP파사, 폴리파사, 나일론파사)인 원료를 투입할 때 정전기 방전(Spark)이 발생한다. 이 정전기 방전(Spark)은 실제 원료 투입과정에서 목격할 수 있다. 그러나 합성섬유는 정전기 Spark에 의해서 전혀 착화되지 않는다. 그 이유는 정전기 방전의 에너지는 합성섬유를 착화시킬 수 있는 최소점화에너지보다 훨씬 적기 때문이다.

셋째, 면파사가 함유된 원료가 투입되는 경우의 화재 위험성 - 면파사가 함유된 원료가 투입되는 경우에는 솜 형상의 섬유(면파사)는 단위체적당 표면적이 넓기 때문에 착화의 위험성은 기하학적으로 증가한다. 더욱이 적은 정전기의 방전(Spark)에너지, 마찰열(마찰 불티)에도 면파사가 함유된 원료는 착화의 가능성이 대단히 높다.

넷째, 타면기 공정을 거쳐 송풍기에 의한 이송과정의 착화 위험성 - 타면기를 통과한 합성섬유(폴리파사, PP파사, 나일론파사)의 원료는 송풍기(10마력) 의해서 duct를 통해서 저장탱크로 이송되는 과정(이송속도: 3~4m/s)에 마찰열에 의해서 착화될 가능성은 없다. 그 이유는 합성섬유(폴리파사, PP파사, 나일론파사)는 난연성이고 높은 점화에너지를 필요로 하기 때문이다. 그러나 면파사가 섞인 솜형상은 송풍기에 의해서 덕트를 통해 이송되는 과정에 duct와 면파사가 함유된 솜의 마찰열에 의해서 혼소되면서 솜저장 탱크에 저장될 가능성이 대단히 높다.

### 점화원(Ignition Source)의 가능성

첫째, 자연발화 - 화재발생일의 최고 기온이 31℃이고, 솜 저장탱크내의 PP파사, 폴리파사 및 면파사가 중합 및 분해반응이 일어날 수 없으므로 그에 따른 온도가 상승할 가능성이 전혀 없다. 또한 일반적으로 PP파사, 폴리파사, 나일론파사의 자연발화온도(A.I.T)가 400℃이상이고 면사의 자연발화온도도 180℃이상 이므로, 솜 저장 탱크 내부의 온도가 180℃ 이상이 될 가능성이 없으므로 자연발화의 가능성은 배제된다.

둘째, 정전기 스파크 - 정전기가 저장탱크의 재료에 대전될 가능성은 상당히 높다. 그 이유는 솜은 비전도체이므로, 정전기가 대전된 상태로 저장탱크에 이송될 가능성을 가지고 있다. 그러나, 접지, 분당 및 공정중의 물 스프레이는 대전된 정전기를 소멸시킨다. 따라서 면파사가 제외된 원료의 경우에는 솜 형태의 합성섬유(PP파사, 폴리파사, 나일론파사)는 최소점화에너지(MIE)가 상대적으로 크기 때문에 정전기의 방전에 의한 에너지는 합성섬유를 착화시킬 수 없다. 그러나 솜 형태의 면파사는 최소점화에너지가 작기 때문에 착화의 가능성이 대단히 높다.

셋째, 마찰열 - 공정중에 이송되는 원료가 마찰열에 의해 착화되어 이미 혼소상태일 가능성이 높다. 그 이유는 각 공정마다 송풍기가 있고, 원료의 이송속도가 빠르고 대부분의 원료가 비전도체이기 때문에 마찰열에 의해서 착화 가능성은 상당히 높다. 그러나 재료의 특성에서 본바와 같이 PP파사, 폴리파사, 나일론 파사는 마찰열에 의해 착화될 가능성은 없고 단지 용융의 가능성만 있다.

그러나 면파사를 포함하고 있는 솜은 마찰열에 의해 혼소되면서 저장탱크로 이송될 가능성은 매우 높다. 따라서 마찰열에 의한 면파사의 혼소가 화재의 원인일 가능성이 매우

높다.

### 3. 결론

정전기가 저장탱크의 재료에 대전될 가능성이 상당히 높다. 습이 비전도체이므로, 정전기가 대전된 상태로 저장탱크에 이송될 가능성을 가지고 있기 때문이다. 그러나 접지, 본딩 및 공정중의 물 스프레이는 대전된 정전기를 소멸시킨다. 따라서 원료가 합성섬유(PP파사, 나일론파사, 폴리카사)일 때에는 정전기가 접화원이 될 수 없다. 즉, 이 경우에는 습 형태의 합성섬유는 최소점화에너지(MIE)가 상대적으로 크기 때문에 정전기의 방전에 의한 에너지는 합성섬유를 착화시킬 수 없다. 그러나 습 형태의 면파사는 최소점화에너지가 작기 때문에 착화의 가능성이 높아진다.

또한, 공정중에 이송되는 면파사가 섞인 원료는 마찰열에 의해 착화되어 혼소상태로 이송될 가능성이 상당히 높다. 그 이유는 각 공정마다 송풍기(10마력)가 있고, 원료의 이송 속도(3~4m/s)가 빠르고 대부분의 원료가 비전도체이기 때문에 마찰열에 의해서 착화 가능성이 상당히 높아진다.

합성수지인 PP파사, 폴리카사, 나일론파사는 난연성 물질이고 발화점(AIT)이 400℃ 이상이므로 공정중에서 발생가능한 정전기 Spark(방전), 마찰열, 자연발화에 의해서 착화될 가능성은 없다. 따라서 2003년 8월 9일 발생한 S산업의 화재의 원인은 면파사가 함유된 원료라고 추론된다.

### 4. 참고문헌

- 1) 고택수, 소방학, 한국고시회, MSDSUN1365 화재원인과 화재조사실무, 1999.5.
- 2) Brian J. Meacham, "Assessment of The Technological Requirements for the Realization of Performance-Based Fire Safety Design in the United states", National Institute of standards and Technology, NIST Publication, 1998.
- 3) E. R. Galea, J. Ewer, M. K. Patel, "SMARTFIRE V 2.01 : User Guide and Technical Manual", Fire Safety Engineering Group, University of Greenwich, 1999.
- 4) Craig Beyler, Philip j. DiNenno, "Introduction to Fire Modeling", Fire Protection Handbook 18th edition, National Fire Protection Association, 1997.
- 5) Harold E. Nelson, Richard L. P. Custer, "Applying Models to Fire Protection Engineering Problems and Fire Investigations", Fire Protection Handbook 18th edition, National Fire Protection Association, 1997.
- 6) E. R. Galea, J. Ewer, M. K. Patel, "SMARTFIRE V 2.01 : User Guide and Technical Manual", Fire Safety Engineering Group, University of Greenwich, 1999.

- 7) "Super-Chems™ Professional Edition Ver. 3.0 User Guide", Arthur D. Little. Inc.(1997)
- 8) "PHAST Professional Ver. 5.1 Manual", DNV Technica Inc.(1998)
- 9) Joe Varela, "Hazardous Materials Handbook for Emergency Responders", Van Nostrand Reinhold(1996)
- 10) Richard W. Bukowski, "Fire Hazard Analysis", Fire Protection Handbook 18th edition, National Fire Protection Association, 1997.